
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (**Pesquisador**/Tecnologista/Pós-doc):

Juan Baptista de Souza Leite / COHEP

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

Título do Projeto:

Estudo da violação de CP em decaimentos de mésons B em três corpos utilizando dados do experimento LHCb

Palavra-chave:

CERN, LHCb, B-physics, CPV

Área de conhecimento:

Física de sabores pesados

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Conhecimento de Python (Desejável) e Relatividade Especial (Desejável)

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

O estudante deve estar no mínimo no segundo período da graduação

Possibilidade de orientação remota:

(x) Sim

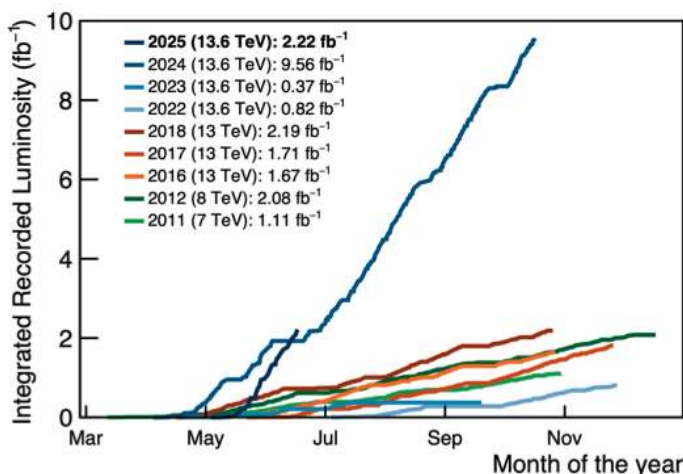
() Não

Rio de Janeiro, 6 de julho de 2026

Introdução:

O **LHCb (Large Hadron Collider Beauty)** é um dos quatro principais experimentos do LHC (Large Hadron Collider) no CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire). O detector [1] é otimizado para o estudo de partículas contendo quarks b e c, possuindo um design assimétrico. Sua excelente resolução de vértices permite identificar com precisão os pontos de decaimento de partículas de vida curta, enquanto o sistema de *tracking* garante alta resolução em momento, fundamental para reconstruir massas invariantes com precisão. Além disso, a sofisticada identificação de partículas (PID), provida pelos detectores RICH (Ring Imaging Cherenkov), calorímetros hadrônico e eletromagnético e estações de múons, permite separar eficientemente diferentes tipos de hádrons e léptons. Essa combinação de geometria, resolução e PID torna o **LHCb um poderoso instrumento para investigar a violação da simetria de carga-paridade (CP), decaimentos hadrônicos e busca por nova física.**

O detector LHCb tomou dados durante o *Run 1* (2010-2012) e *Run 2* (2015-2018) com um tremendo êxito, coletando uma luminosidade¹ integrada ($\mathcal{L}_{int}$) de 9 fb^{-1} de dados de colisões próton-próton (pp). A luminosidade é um importante fator para determinar a quantidade de dados disponível para análise e seu aumento amplia a capacidade de investigar processos raros.



O LHCb concluiu sua terceira fase de coleta de dados, o *Run 3*, após um longo e abrangente processo de atualização do detector, e quebrou recordes em coletas de dados.

Com os dados do *Run 3*, **espera-se até cinco vezes mais dados do que o Run 1 e 2 somados.** O que nos permitirá ter sensibilidade a novos fenômenos físicos e aprimorar nossas medidas.

Figura 1: Luminosidade registrada por meses do ano
(Fonte: LHCb-outreach)

O CBPF conta com um grupo consolidado dedicado ao estudo do decaimento do méson B, com ampla experiência e histórico de análises realizadas em colaboração com o experimento LHCb, resultando em diversas publicações.

Uma das principais linhas de análise do grupo é a busca por violação de CP em decaimentos do tipo $B^\pm \rightarrow h^\mp h^\pm h^\pm$; $h = \pi, K$ e $B^\pm \rightarrow p\bar{p}h^\pm$. Esses decaimentos em três corpos constituem um ambiente ideal para investigar o papel das interações de curta e longa distância na geração da diferença de fase forte também necessária para a ocorrência de violação de CP direta². Tais processos acontecem por meio da superposição de estados ressonantes ($B^+ \rightarrow R(\rightarrow h^+ h^-) h^+$; $R = f_0(980), f_0(1370), \phi(1020), \dots$). A dinâmica desses canais de decaimento pode ser analisada estudando o Dalitz-plot (Dp) no qual os estados ressonantes se manifestam como estruturas localizadas, visíveis tanto como picos quanto como depressões.

¹ No LHC, a luminosidade mede a “intensidade” das colisões por unidade de área e tempo — essencialmente, quão frequentemente partículas colidem.

² A violação de CP direta ocorre quando a taxa de decaimento de uma partícula para um determinado estado final é diferente da taxa de decaimento da antipartícula para o estado final correspondente - $\Gamma(B^+ \rightarrow f) \neq \Gamma(B^- \rightarrow \bar{f})$.

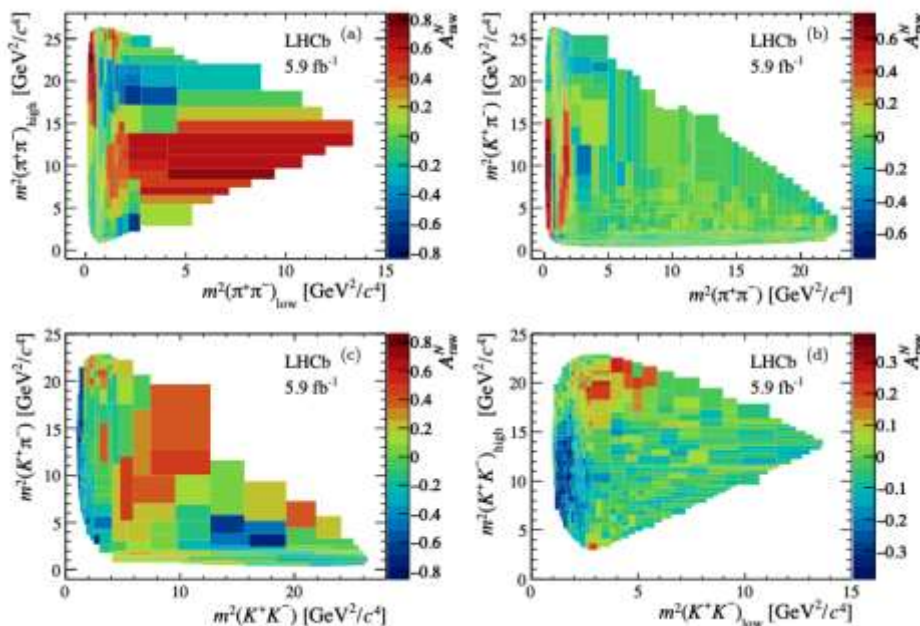


Figura 2: Assimetria no Dp dos canais $B \rightarrow hhh$. Fonte: arxiv:2206.07622

Uma vantagem adicional do DP é a possibilidade de investigar os padrões de interferência entre diferentes estados, aspecto fundamental para os estudos de violação de CP.

Uma análise modelo-independente foi realizada nos quatro canais $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$, $B^\pm \rightarrow \pi^\pm K^+ K^-$, $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$ e $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ [2] utilizando dados do Run 2 equivalente a 5.9 fb^{-1} e mediu assimetrias CP integradas significativas (acima de 5σ) nos três últimos, sendo os dois últimos observados pela primeira vez. Além disso, o estudo revelou distribuições não uniformes de assimetrias no Dalitz plot, incluindo a maior violação de CP local já registrada até então no canal $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ na região que sofre grande influência do rescattering $\pi^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^-$.

Com o aumento significativo da luminosidade no Run 3, será possível observar com mais detalhe as regiões de baixa estatística.

Projeto:

O projeto consiste em realizar o mesmo estudo do artigo arxiv:2206.07622 com os dados que estão sendo coletados no Run 3. O aluno realizará as seguintes tarefas:

- **Produção dos dados** - os dados de um determinado canal precisam ser selecionados dos dados salvos no storage do LHCb. Para isso o aluno aprenderá a usar os softwares do LHCb como o DaVinci e o *Analysis Production*.
- **Reconstrução do canal de decaimento** - o aluno entenderá o significado das variáveis que caracterizam a topologia do decaimento, reconstrução do méson B, e identificação das partículas do estado final.
- **Tratamento estatístico** – o aluno fará o estudo da eficiência de seleção de modo a maximizar a razão Sinal/Ruído. Esses estudos serão realizados utilizando amostras de simulação.

- **Estudo das assimetrias *cruas*** - com os candidatos selecionados, o aluno investigará as estruturas presentes no Dalitz plot e as assimetrias entre B^+ e B^- .

Aprendizagem:

Ao final do projeto o aluno terá conhecimentos de:

1. Programação (Python, Snakemake, Tensorflow, etc)
2. Estatística
3. Física de partículas
4. Ferramentas de análises de dados do experimento LHCb.

Importante:

O aluno poderá fazer o projeto em regime híbrido. Porém, o mesmo deve ter um mínimo semanal de presença na instituição que será acordado com o orientador.

Desejável nos pré-requisitos não que dizer obrigatório.

É isso. Qualquer dúvida só perguntar através de juanbsleite@cbpf.br colocando no assunto **PIBIC 2026.1**.

Bibliografia:

- [1] - The LHCb upgrade I - <https://arxiv.org/abs/2305.10515>
[2] - Direct CP violation in charmless three-body decays of $B^\pm$ mesons - <https://arxiv.org/abs/2206.07622>